

## СЕЙСМИЧНОСТЬ КАМЧАТКИ и КОМАНДОРСКИХ ОСТРОВОВ в 2015 г.

Д.В. Чебров, В.А. Салтыков, Е.А. Матвеевко, С.Я. Дрознина, Е.И. Ромашева,

С.В. Митюшкина, И.Р. Абубакиров, В.М. Павлов

Камчатский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский, Россия, van@emsd.ru

**Аннотация.** Приведен обзор сейсмичности Камчатки и прилегающих территорий за 2015 год. Представительность каталога землетрясений Камчатки в целом может оцениваться как  $ML_{\min}=3.5$  ( $K_{S\min}=8.5$ ), а для охотоморских землетрясений, происходящих на глубине нескольких сот километров,  $ML_{\min}=3.6$  ( $K_{S\min}=8.7$ ). Публикуемый в настоящем выпуске журнала каталог землетрясений 2015 г., зарегистрированных Камчатской региональной сетью, включает 1213 событий с  $ML \geq 3.5$ , где локальная магнитуда  $ML=K_S/2-0.75$ . Из них 92 события с  $ML=3.5 \div 6.5$  ощущались с интенсивностью  $I$  от 2 до 6 баллов по шкале MSK-64 на Камчатке и прилегающих территориях. Для событий 2015 г. предпринята попытка массового расчета тензора сейсмического момента (ТСМ) для всех землетрясений из зоны ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН с  $ML \geq 5.0$  ( $K_S \geq 11.5$ ). В региональный каталог включено 32 таких события. Для 28 землетрясений удалось успешно рассчитать ТСМ и глубину  $h$  эквивалентного точечного источника. Расчеты проводились для модели ТСМ «двойной диполь без момента» с использованием нелинейного алгоритма. В 2015 г. в пределах Камчатской зоны ответственности наблюдалась типичная картина расположения эпицентров землетрясений. Уровень сейсмичности по шкале «СОУС'09» во всех выделенных зонах и в целом соответствовал фоновому. Количество зафиксированных событий с  $ML \geq 3.5$  ( $K_S \geq 8.5$ ) и сильных землетрясений с  $ML \geq 5.0$  ( $K_S \geq 11.5$ ) близко к среднегодовому значению. Аномальных и выдающихся событий не отмечено.

**Ключевые слова:** Камчатка, сейсмичность, каталог, землетрясение, механизм очага, макросейсмика, уровень сейсмичности.

DOI: 10.35540/1818-6254.2021.24.14

**Для цитирования:** Чебров Д.В., Салтыков В.А., Матвеевко Е.А., Дрознина С.Я., Ромашева Е.И., Митюшкина С.В., Абубакиров И.Р., Павлов В.М. Сейсмичность Камчатки и Командорских островов в 2015 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – С. 153–163 doi: 10.35540/1818-6254.2021.24.14

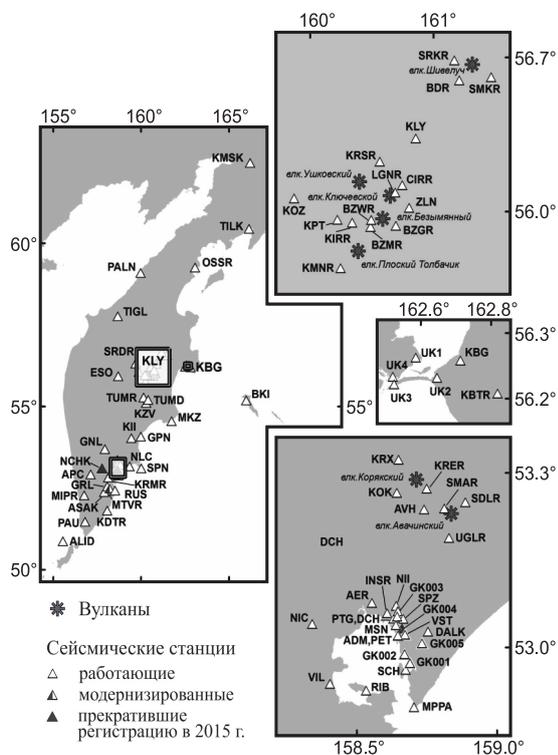


Рис. 1. Сеть сейсмических станций Камчатки в 2015 г. [1]

**Сеть сейсмических станций.** В 2015 г. продолжилась работа по модернизации сети сейсмических станций Камчатки. Сведения о сейсмических станциях Камчатки приведены в приложении к ежегоднику [1], их расположение представлено на рис. 1. Подробное описание изменений в сети изложено в [2]. В 2015 г. были отключены две сейсмические станции: Больница (GK004) и Начики (NCHK). На станции Больница 25 октября произошло затопление помещения, что привело к выходу оборудования из строя. Оборудование на станции Начики было демонтировано по требованию владельцев земельного участка. Отключение этих станций не повлияло на теоретический уровень надежной регистрации сети [3] для наиболее сейсмоактивной территории Курило-Камчатского региона.

Обработка сигналов сейсмических станций, расчет параметров гипоцентров и энергетических характеристик землетрясений производятся при помощи программы DIMAS [4, 5].

Как показано в [6], оценка региональной представительности по графику Гутенберга-Рихтера для больших пространственных областей некорректна, поэтому реальная представительность

каталога землетрясений Камчатки в 2015 г. может быть оценена путем сканирования сейсмоактивной области ячейками относительно небольшого размера и последующим объединением полученных результатов.

На рис. 2 представлена карта представительности каталога землетрясений 2015 г. в зоне ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН. Локальная магнитуда землетрясений в указанном каталоге получена пересчетом по формуле  $ML = K_S/2 - 0.75$  [7]. Карта представительности построена по результатам сканирования кругами радиусом 100 км с расчетом соответствующего уровня представительности каталога по локальной магнитуде  $ML_{\min}$  или по энергетическому классу  $K_{S\min}$  со статистической значимостью  $\alpha=0.3$ . Каталог ограничен снизу локальной магнитудой  $ML=2.5$  (энергетическим классом  $K_S=6.5$ ), что позволяет отделить вулканические землетрясения, происходящие в локальных областях и зарегистрированные специализированными сейсмометрическими сетями, обеспечивающими локальную представительность, существенно отличающуюся от региональной. Представительность каталога землетрясений Камчатки в целом по зоне ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН может оцениваться как  $ML_{\min}=3.5$  ( $K_{S\min}=8.5$ ), для Камчатской сейсмоактивной области ( $\varphi=50.5-56.5^\circ$  с.ш.,  $\lambda=156.5-167^\circ$  в.д.) –  $ML_{\min}=3.0$  ( $K_{S\min}=7.5$ ), а для охотоморских землетрясений, происходящих на глубине нескольких сотен километров –  $ML_{\min}=3.6$  ( $K_{S\min}=8.7$ ).

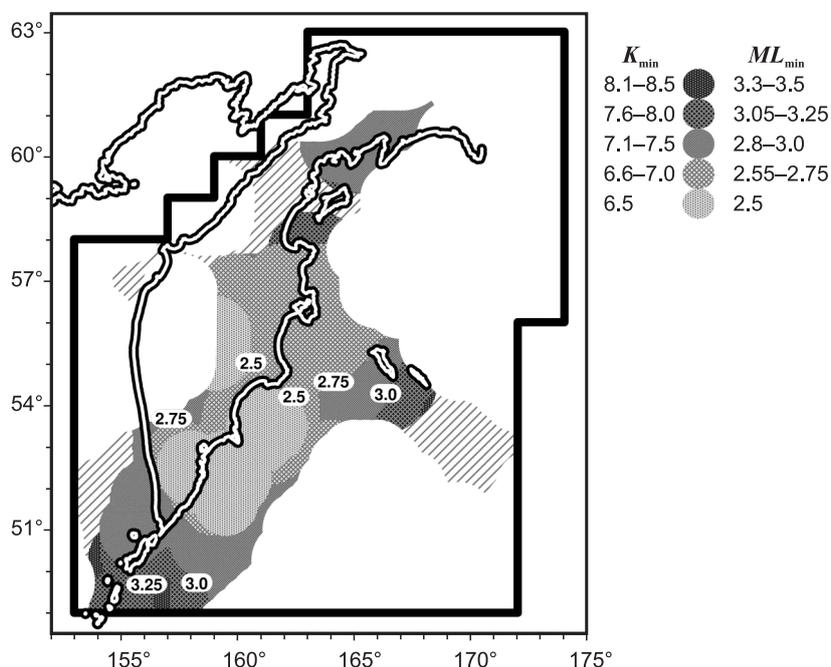


Рис. 2. Карта региональной представительности каталога землетрясений 2015 г. в зоне ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН

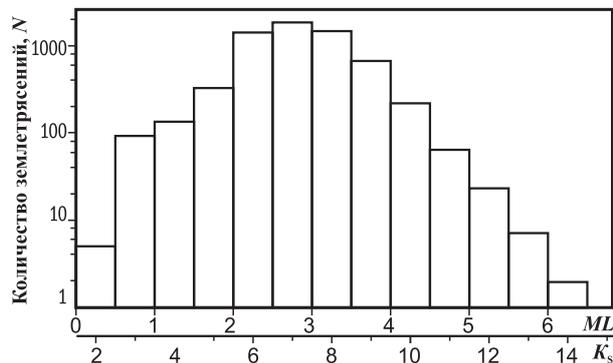
Незакрашенной области соответствует отсутствие землетрясений в 2015 году. Косая штриховка обозначает территории, где плотность землетрясений представительной магнитуды не достигла порогового для расчета уровня  $N=25$  на единичный круг.

**Характеристика исходных данных.** Детальный анализ параметров сейсмического режима в 2015 г. представлен в работе [8]. Каталог землетрясений, публикуемый в настоящем Ежегоднике [9], включает 1213 событий с  $ML \geq 3.5$  ( $K_S \geq 8.5$ ), зарегистрированных Камчатской региональной сетью сейсмических станций. Из них 1000 событий находятся внутри зоны ответственности сети КФ ФИЦ ЕГС РАН, а 213 – за ее пределами. Анализ сейсмичности в данной статье проводится по землетрясениям внутри зоны ответственности сети КФ ФИЦ ЕГС РАН.

Всего в 2015 г. внутри зоны ответственности сети КФ ФИЦ ЕГС РАН определены эпицентры 6399 землетрясений в энергетическом диапазоне  $ML=0.35-6.15$  ( $K_S=2.2-13.8$ ). Распределение числа землетрясений по магнитудам с шагом 0.5 и по энергетическим классам с шагом 1 приведено на рис. 3.

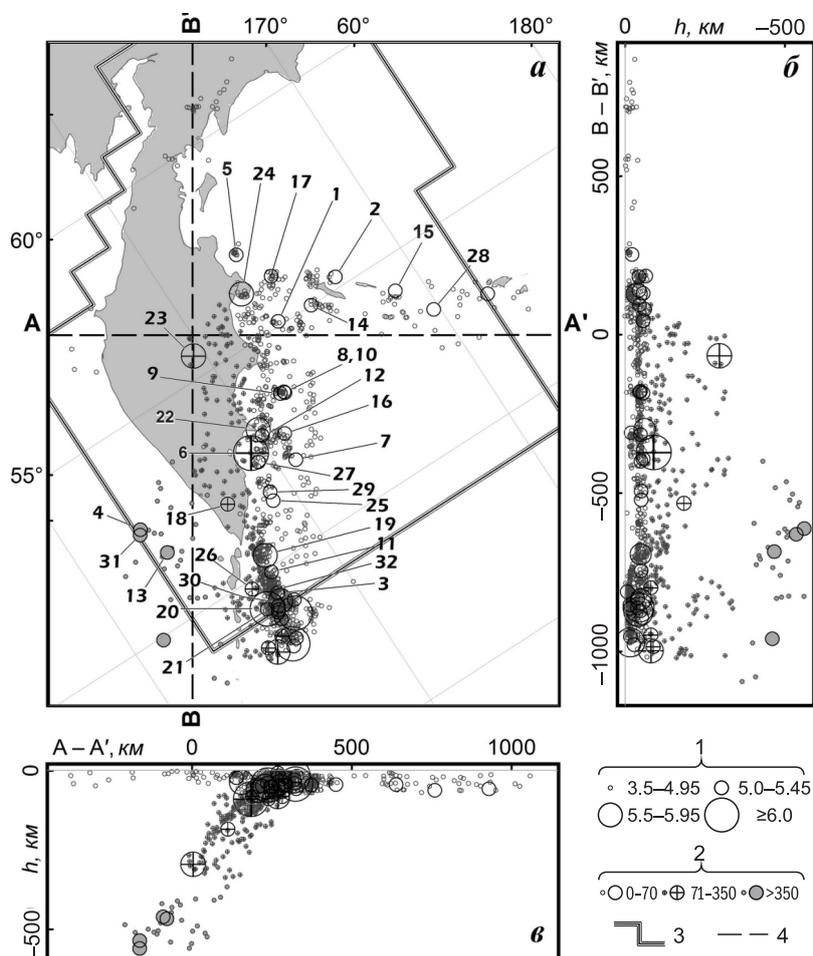
Каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов, включающий землетрясения с  $ML \geq 3.5$ , доступен в интернете по адресу <http://sdis.emsd.ru/info/earthquakes> [10]. Для получения

информации о более слабых событиях необходимо зарегистрироваться (<http://sdis.emsd.ru/pers/registration.php>) и оформить запрос на расширенный доступ.



**Рис. 3.** Распределение числа землетрясений по магнитудам  $ML$  (энергетическим классам  $K_s$ ) в 2015 г. для зоны ответственности сети КФ ФИЦ ЕГС РАН

**Анализ данных.** На рис. 4 представлена карта эпицентров землетрясений с  $ML \geq 3.5$ . Вертикальные разрезы поля гипоцентров показаны в областях (б) – продольный разрез В–В' и (в) – поперечный разрез А–А'. В Камчатском регионе в 2015 г. зафиксировано 32 землетрясения с  $ML \geq 5.0$  ( $K_s \geq 11.5$ ), они пронумерованы на карте (а) в соответствии с нумерацией в каталоге [9].



**Рис. 4.** Карта эпицентров землетрясений Камчатки с  $ML \geq 3.5$  за 2015 г. (а); проекции на вертикальные плоскости А–А' (в) и В–В' (б).

1 – локальная магнитуда  $ML$ ; 2 – глубина гипоцентра  $h$ , км; 3 – граница Камчатского региона; 4 – линия вертикального разреза вкрест (А–А') и вдоль (В–В') фокальной зоны; числа 1–32 соответствуют номерам землетрясений с  $ML \geq 5.0$  ( $K_s \geq 11.5$ ) согласно каталогу [9].

Уровень сейсмичности в регионе Камчатка и Командорские острова оценивался, исходя из величины функции распределения  $F$  сейсмической энергии, выделившейся в 2015 году. Методика расчета функции распределения  $F$  и градации шкалы уровня сейсмичности «СОУС'09» описаны в [11, 12]. В 2015 г. суммарная энергия всех зарегистрированных в зоне ответственности

КФ ФИЦ ЕГС РАН землетрясений составила  $\Sigma E = 2.2 \cdot 10^{14}$  Дж. Функция распределения  $F$  выделенной за год сейсмической энергии построена по данным за 1962–2019 гг. (рис. 5). Для 2015 г.  $F = 0.31 \pm 0.06$ , что соответствует фоновому среднему уровню по шкале «СОУС'09».

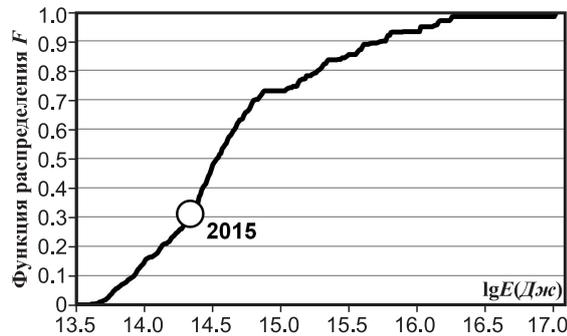


Рис. 5. Функция распределения  $F$  сейсмической энергии для региона Камчатки и Командорских островов

Кружком отмечено значение функции распределения  $F$  в 2015 г.

в промежуточном слое северной части Камчатской сейсмофокальной зоны с эпицентром в Авачинском заливе ( $ML = 6.15$ ,  $M_w = 5.4^1$ ); 2) землетрясение (20) 5 сентября в промежуточном слое сейсмофокальной зоны Курил и Южной Камчатки с эпицентром в Тихом океане, в 168 км на юг от г. Северо-Курильска ( $ML = 6.05$ ,  $M_w = 5.8$ ) [9].

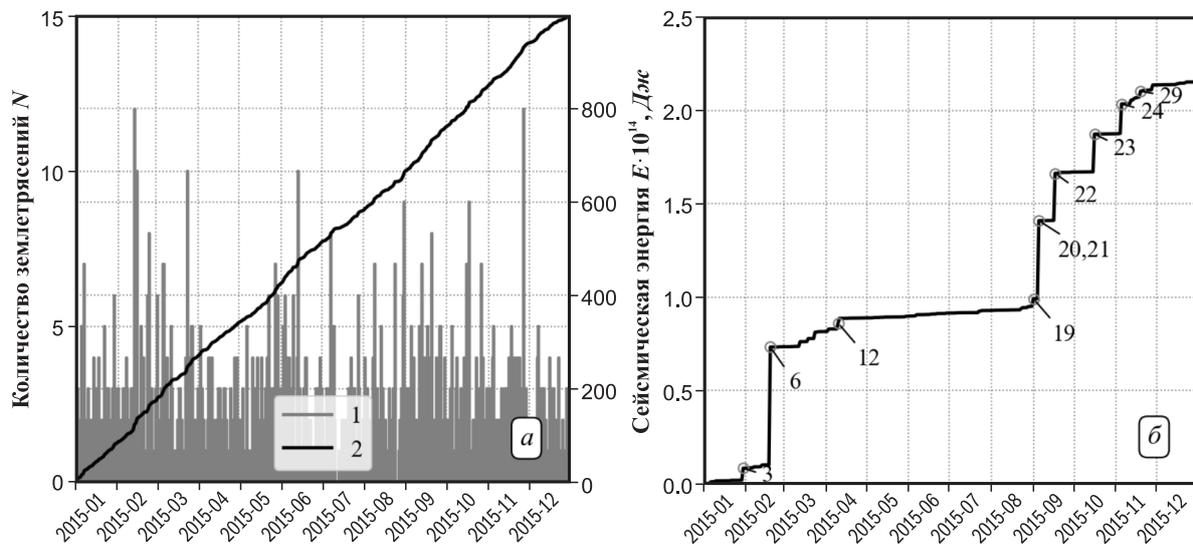


Рис. 6. Ежесуточное число  $N$  землетрясений с  $ML \geq 3.5$  (а); кумулятивный график выделенной сейсмической энергии  $\Sigma E$  (б) в 2015 г. для зоны ответственности сети КФ ФИЦ ЕГС РАН

1 – гистограмма распределения; 2 – кумулятивный график; на рис. 6 б отмечены землетрясения с  $ML \geq 5.5$ , их нумерация соответствует каталогу [9].

На территории Камчатского края и Северных Курил в 2015 г. ощущалось 92 землетрясения с  $ML = 3.5–6.5$  ( $K_S = 8.5–14.5$ ) [13] и интенсивностью  $I$  от 2 до 6 баллов по шкале MSK-64 [14], все они включены в каталог [9], публикуемый в настоящем Ежегоднике. Всего было собрано 857 сообщений о землетрясениях из 93 пунктов [15]. Также в этот список включены сообщения о землетрясениях с  $ML = 3.0$  ( $K_S = 7.5$ ). Ощущались землетрясения в 60 пунктах, наибольшее число сообщений ( $n = 27$ ) получено из г. Северо-Курильска [13]. Максимальная интенсивность сотрясений

<sup>1</sup> Здесь и далее  $M_w$  из каталога [12], полученные в КФ ФИЦ ЕГС РАН.

в 2015 г. составила  $I_{\max}=6$  баллов и наблюдалась на маяке Круглый ( $\Delta=96$  км) во время землетрясения (6) 19 февраля в  $16^{\text{h}}32^{\text{m}}$  с  $ML=6.15$ ,  $h=89.9$  км (оценка интенсивности дана смотрителем маяка и передана радиограммой без подробного описания макросейсмического эффекта). В административных населенных пунктах самые сильные сотрясения  $I=5-6$  баллов зафиксированы в пос. Усть-Камчатск ( $\Delta=21$  км) во время землетрясения под Камчатским полуостровом (24) 5 ноября в  $01^{\text{h}}59^{\text{m}}$  с  $ML=5.85$ ,  $h=36.4$  км.

В г. Петропавловске-Камчатском сотрясения с интенсивностью  $I$  от 2 до 4–5 баллов ощущались в совокупности 14 раз от землетрясений разных классов в диапазоне  $ML=4.6-6.15$  ( $K_S=10.7-13.8$ ) [13].

Для расчета механизмов и параметров очагов отбирались землетрясения из зоны ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН с  $ML \geq 5.0$ . В региональный каталог [9] внесено 32 таких события. Для 28 землетрясений в диапазоне  $ML=5.0-6.15$  ( $K_S=11.5-13.8$ ) [16] удалось рассчитать тензор сейсмического момента (ТСМ) и глубину  $h$  эквивалентного точечного источника. Расчеты проводились для модели ТСМ «двойной диполь без момента» с использованием алгоритма, описанного в [17]. По ТСМ определены механизмы очага и значения скалярного сейсмического момента  $M_0$ . Результаты расчетов приведены в [16] и на рис. 7 и 8.

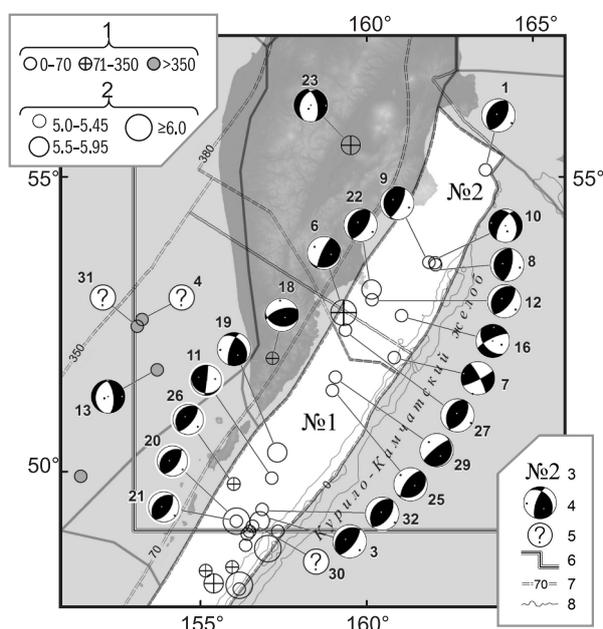


Рис. 7. Карта эпицентров и диаграммы механизмов очагов землетрясений ( $ML > 5.0$ ) Курило-Камчатской зоны субдукции (зоны № 1 и № 2) за 2015 г.

1 – локальная магнитуда  $ML$ ; 2 – глубина гипоцентра  $h$ , км; 3 – номер зоны из табл. 1; 4 – диаграмма механизма очага землетрясения; 5 – механизм для землетрясения не определен; 6 – граница Камчатского региона; 7 – граница зоны (обозначениями  $=0=$ ,  $=70=$ ,  $=350$  ( $380$ )= показаны границы слоев с  $h=0$ ,  $h=70$ ,  $h=350$  и  $380$  км соответственно в зонах № 1 и № 2); 8 – изобаты 6000 и 7000 м; число возле диаграммы соответствует номеру землетрясения в каталоге [9].

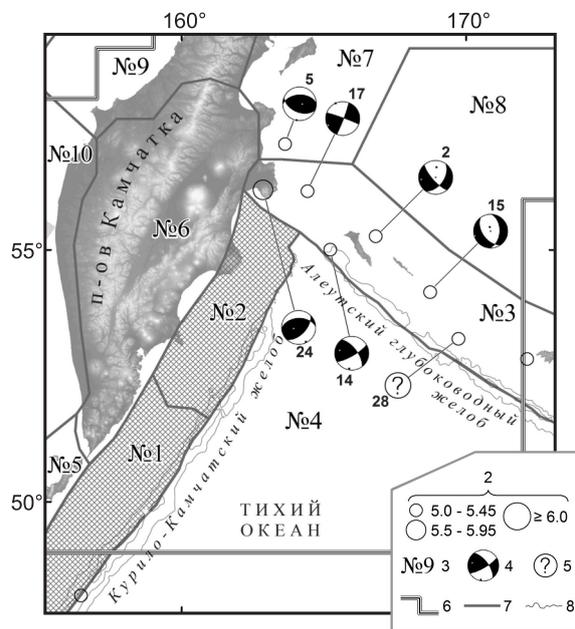


Рис. 8. Карта эпицентров и диаграммы механизмов очагов землетрясений ( $ML \geq 5.0$ ) зон № 3–10 за 2015 г.

1 – локальная магнитуда  $ML$ ; 2 – номер зоны из табл. 1; 3 – стереограмма механизма очага землетрясения; 4 – механизм для землетрясения не определен; 5 – граница камчатского региона; 6 – границы зон из табл. 1; 7 – изобаты 6000 и 7000 м; число возле стереограммы соответствует номеру землетрясения в каталоге [9].

Доля успешно обработанных событий составила 88 %. Диапазоны локальной и моментной магнитуд для этих событий составили  $ML=5.0-6.15$  и  $M_w=4.2-5.8$  соответственно. Значение длительности  $\tau$  временной функции источника оценить не удалось ни для одного из обработанных землетрясений. Для всех событий наилучшее согласие между реальными и синтетическими волновыми формами достигается без использования временной функции источника. Иначе говоря, значение  $\tau$  во всех случаях равно нулю. В то же время ожидаемые значения длительности  $\tau_e$  для

диапазона  $M_w=4.2-5.8$ , вычисленные по корреляционной формуле  $\tau_e=2.1 \cdot (M_0[H \cdot м] 10^{-17})^{1/3}$  [18], находятся в интервале  $\tau_e=0.6-3.9$  с. Наблюдаемое расхождение в оценках  $\tau$  и  $\tau_e$  обусловлено тем обстоятельством, что при расчете ТСМ для слабых и умеренной силы землетрясений используются волновые формы с периодами  $T$  в несколько десятков секунд, для которых выполняется условие  $T \gg \tau_e$ , не позволяющее получить надежные оценки  $\tau$ . Для четырех землетрясений (4), (28), (30) и (31) с  $ML=5.0-5.45$  ( $K_S=11.5-12.4$ ) оценки ТСМ и  $h$  получить не удалось из-за недостатка исходных данных с приемлемым отношением сигнал/шум.

Рассмотрим особенности сейсмического процесса региона в пространственных областях, определенных в соответствии с регионализацией сейсмоактивного объема Камчатки и прилегающих территорий [19, 20], учитывающей тектоно-географическое положение землетрясений. Оценки распределения количества землетрясений представлены в табл. 2 на двух энергетических срезах –  $ML \geq 3.5$  и  $ML \geq 5.0$ . Они сравниваются с соответствующими средними значениями за весь период инструментальных наблюдений с 1962 г. по 2014 год. Для девяти из десяти выделенных зон можно сделать статистические оценки уровня сейсмичности по шкале «СОУС’09», которые также приведены в табл. 2.

**Таблица 2.** Распределение числа землетрясений с  $ML \geq 3.5$  ( $K_S \geq 8.5$ ) и  $ML \geq 5.0$  ( $K_S \geq 11.5$ ) в 2015 г. в сопоставлении с их средними оценками за период 1962–2014 гг., а также оценка уровня сейсмичности для различных сейсмоактивных областей внутри границ региона Камчатка и Командорские острова

№	Зона	Слой	Средние значения за 1962–2014 гг.				Значения за 2015 г.				F (lgE)	Уровень сейсмичности
			N (ML≥3.5)	N/NΣ, %	N (ML≥5.0)	ΣE, 10 <sup>14</sup> Дж	N (ML≥3.5)	N/NΣ, %	N (ML≥5.0)	ΣE, 10 <sup>14</sup> Дж		
1	Сейсмофокальная зона Курил и Южной Камчатки	I	199	19.6	11	1.95	334	33.4	9	0.62	0.54 ±0.07	Фоновый средний
		II	55	5.4	2	0.69	105	10.5	2	0.02		
		III	9	0.9	<1	19.55	25	2.5	3	0.06		
2	Северная часть Камчатской сейсмофокальной зоны	I	404	39.8	17	2.01	241	24.1	9	0.41	0.63 ±0.06	Фоновый средний
		II а	94	9.3	2	2.37	70	7.0	2	0.84		
		III а	<1	<0.1	<1	0.02	–	–	–	–		
3	Командорский сегмент Алеутской дуги	I	122	12.0	6	1.03	120	11.9	6	0.20	0.43 ±0.06	Фоновый средний
		II	1	0.1	<1	<0.01	–	–	–	–		
4	Тихий океан	I	57	5.6	1	0.11	58	5.8	–	<0.01	0.31 ±0.06	Фоновый средний
		II	1	0.1	<1	<0.01	–	–	–	–		
5	Северные Курилы	I	2	0.2	–	<0.01	–	–	–	–	0.47 ±0.10	Фоновый средний
		II	<1	<0.1	–	<0.01	–	–	–	–		
6	Континентальные области Камчатки	I	45	4.4	<1	0.10	2	0.2	–	<0.01	0.51 ±0.07	Фоновый средний
		II	<1	<0.1	–	<0.01	–	–	–	–		
7	Корякский сейсмический пояс	I	23	2.3	1	1.60	38	3.8	1	0.01	0.74 ±0.06	Фоновый средний
		II	<1	<0.1	–	<0.01	–	–	–	–		
8	Берингово море	I	<1	<0.1	–	<0.01	–	–	–	–	–	
9	Залив Шелихова	I	1	0.1	<1	<0.01	4	0.4	–	<0.01	0.45 ±0.09	Фоновый средний
10	Охотия	I	<1	<0.1	<1	<0.01	3	0.3	–	<0.01	0.65 ±0.09	Фоновый средний
		II	<1	<0.1	<1	<0.01	–	–	–	–		
Всего			1015	100	42	29.4	1000	100	32	2.15	0.31 ±0.06	Фоновый средний

Примечание. Цифрами I, II и III обозначены поверхностный ( $0 \leq h \leq 70$  км), промежуточный ( $70 < h \leq 350$  км) и глубокий ( $h > 350$  км) слои соответственно; зона № 2 имеет границы зон промежуточного ( $70 < h \leq 380$  км) и глубокого ( $h > 380$  км) слоев, отличные от других; они обозначаются как II а и III а соответственно.

В сейсмофокальной зоне Курил и Южной Камчатки № 1 в 2015 г. отмечается фоновый средний уровень сейсмичности по шкале «СОУС’09» (табл. 2). По трем глубинным сейсмическим слоям события с  $ML \geq 3.5$  распределились следующим образом: поверхностные –  $N=334$  (33.4 % всех событий), промежуточные –  $N=105$  (10.5 %) и глубокие –  $N=25$  (2.5 %). Зафиксировано 14 землетрясений с  $ML \geq 5.0$ . (рис. 7). Всего в зоне произошло 25 ощутимых землетрясений с интенсивностью от 2 до 4–5 баллов и  $ML=4.05-6.05$  ( $K_S=9.6-13.6$ ). Интенсивность сотрясений 4–5 баллов зафиксирована на маяке Круглый ( $\Delta=89$  км) во время землетрясения (25) 12 ноября в 13<sup>h</sup>54<sup>m</sup> с  $ML=5.4$ ,  $h=51.2$  км. Кроме того, в каталог [13] добавлена информация о макросейсмических проявлениях трех землетрясений, реализовавшихся за границей зоны ответственности

КФ ФИЦ ЕГС РАН. Сильнейшее в каталоге Камчатки и Командорских островов в 2015 г. землетрясение с  $ML=6.5$ ,  $M_w=5.9$  зарегистрировано 16 ноября в  $16^{\text{h}}49^{\text{m}}$  в поверхностном слое ( $h=16.4$  км) за пределами зоны ответственности Камчатского филиала (рис. 4). Очаг землетрясения находился в Тихом океане напротив центральной части большой Курильской гряды, примерно в 290 км к югу от г. Северо-Курильска и в 580 км к югу от г. Петропавловска-Камчатского. По данным КФ ФИЦ ЕГС РАН землетрясение ощущалось в г. Северо-Курильске с интенсивностью  $I=3-4$  балла.

В северной части Камчатской сейсмофокальной зоны № 2 произошло 311 землетрясений с  $ML \geq 3.5$  (31.6 % всех событий), из них 24.1 % поверхностных ( $N=241$ ), 7.0 % промежуточных ( $N=70$ ). Зарегистрировано 11 событий с  $ML \geq 5.0$  (рис. 7). Уровень сейсмичности по шкале «СОУС'09» – фоновый средний (табл. 2). Всего в зоне зафиксировано 34 ощутимых землетрясения с интенсивностью от 2 до 6 баллов и  $ML=4.1-6.15$  ( $K_S=9.7-13.8$ ). События (6), (22) и (23) [9] были наиболее сильными по ощущениям респондентов.

Землетрясение (6) 19 февраля 2015 г. в  $16^{\text{h}}32^{\text{m}}$ ,  $ML=6.15$ ,  $M_w=5.5$ ,  $h=89.9$  км зафиксировано в Авачинском заливе в 57 км от г. Петропавловска-Камчатского (П-К) и проявилось в городе с интенсивностью сотрясений  $I=4-5$  баллов –  $I=I_{\text{макс}}$  в П-К в 2015 году. Событие ощущалось в 30 населенных пунктах, расположенных на восточном побережье Камчатки и о. Парамушир, на расстоянии от эпицентра  $\Delta=46-314$  км [9, 13]. В 2015 г. это землетрясение имело самую большую площадь макросейсмических проявлений.

Максимальные интенсивности сотрясений наблюдались на маяке Круглый ( $\Delta=96$  км),  $I_{\text{макс}}=6$  баллов, и мысе Шипунский ( $\Delta=66$  км),  $I=5-6$  баллов. В ближайшем к эпицентру пункте маяк Петропавловский ( $\Delta=46$  км) интенсивность составила  $I=4-5$  баллов, по словам респондента, он проснулся за несколько минут до землетрясения. Сильная жесткая тряска застала его стоявшим в проеме кухонной двери. Заметно раскачивалась люстра, дребезжала посуда, дрожали кухонный стол и холодильник. Наблюдалось сотрясение здания в целом (здание двухэтажное шлакоблочное). Все находившиеся на маяке люди, которые спали, проснулись.

В г. Петропавловске-Камчатском землетрясение ощущалось большинством жителей на всех этажах зданий, более сильно – на верхних этажах [10]. Спавшие просыпались, большинство пугались, вставали в безопасное место, некоторые покидали помещение. Землетрясение ощущалось как один или два резких вертикальных толчка с интервалом в несколько секунд и затем жесткая тряска в течение 5–10 с. Колебания висячих предметов наблюдались в пределах от «заметно» до «очень сильно». Скрипела и дрожала мебель. Дребезжала посуда. Дрожали и скрипели двери и дверцы мебели. У многих респондентов было ощущение сотрясения здания в целом. Некоторые респонденты отмечали, что: ощутили однократный резкий вертикальный толчок; был слышен подземный гул; дверцы мебели открывались; скрипели пластиковые оконные стеклопакеты; легкие и тяжелые предметы покачивались и вибрировали; колебалась жидкость в открытых сосудах; был слышен скрип полов, потолков, стен. Некоторые респонденты, находившиеся на верхних этажах зданий, наблюдали падение легких неустойчивых предметов с полок, выплескивание жидкости, сдвигание и раскачивание картин, отдельные люди отмечали появление тонких трещин в штукатурке, осыпание штукатурки, побелки. Сильно беспокоились домашние животные. Землетрясение в течение 2–5 с отчетливо ощущалось многими членами команды на стоящем на якоре судне, как будто что-то очень тяжелое упало на палубу, ощущалась отчетливая вибрация по корпусу судна; колебалась жидкость в открытых сосудах, слышался скрип.

Землетрясение вблизи мыса Шипунский (22) 17 сентября 2015 г. в  $08^{\text{h}}58^{\text{m}}$ ,  $ML=5.95$ ,  $M_w=5.3$ ,  $h=62$  км, ощущалось с  $I_{\text{макс}}=5$  баллов на кордонах Мыс Налычево ( $\Delta=54$  км), Долина Гейзеров ( $\Delta=150$  км) и Узон ( $\Delta=157$  км). На кордоне Мыс Налычево ( $\Delta=54$  км) за несколько секунд до землетрясения респондент услышал удаленный нарастающий гул. По звуку было слышно, как волна пошла в сторону Козельского вулкана на город. Затем последовал толчок, от которого подпрыгнул дом из бруса на деревянных сваях, и затухающие колебания в течение 10 с. В то же время на кордонах Долина Гейзеров ( $\Delta=150$  км) и Узон ( $\Delta=157$  км) в одноэтажных деревянных зданиях в течение 20–30 с люди ощущали жесткую тряску. Наблюдалось сотрясение здания в целом, ходуном ходили печи, мебель, раскачивались лампочки, а также зеркала и другие предметы, висевшие на стенах. Люди испугались.

В ближайшем к эпицентру пункте мыс Шипунский ( $\Delta=10$  км) интенсивность сотрясений достигала 3–4 баллов.

При землетрясении в промежуточном слое (23) 16 октября 2015 г. в 06<sup>h</sup>38<sup>m</sup>,  $ML=5.9$ ,  $M_w=5.6$ ,  $h=295.1$  км, самые сильные сотрясения  $I_{\max}=5$  баллов были зафиксированы на восточном побережье Камчатки на кордоне Долина Гейзеров ( $\Delta=128$  км), где в одноэтажном деревянном доме люди ощутили сильную жесткую тряску и покинули помещение. Событие ощущалось с интенсивностью  $I=2$  балла еще в трех населенных пунктах Камчатского края: в пос. Усть-Камчатск ( $\Delta=203$  км), П-К ( $\Delta=285$  км) и в с. Никольское ( $\Delta=411$  км, о. Беринга).

В **Командорском сегменте Алеутской дуги (зона № 3)** произошло 110 землетрясений с  $ML \geq 3.5$ , из них четыре имеют  $ML=5.1-5.85$  ( $K_S=11.7-13.2$ ) (рис. 8), все они реализовались в поверхностном слое. Уровень сейсмичности в зоне № 3 в 2015 г. был оценен как фоновый средний. Событие с максимальной  $ML$  (24) произошло 5 ноября 2015 г. в 01<sup>h</sup>59<sup>m</sup> ( $h=36,4$  км с  $ML=5.85$ ,  $M_w=5.1$ ), ощущалось с  $I_{\max}=5-6$  баллов в пос. Усть-Камчатск ( $\Delta=21$  км),  $I=5$  баллов в с. Крутоберегово ( $\Delta=12$  км).

Землетрясение ощутило большинство жителей пос. Усть-Камчатск ( $\Delta=21$  км) как очень сильную жесткую тряску длительностью до 5 с: сначала вертикальную, потом из стороны в сторону. Был слышен грохот неясного происхождения. Люди очень испугались, некоторые встали в безопасное место, многие в панике выбежали на улицу. Из школы учителя вывели детей. Некоторые люди на верхних этажах зданий, двигаясь по помещению, теряли равновесие. Наблюдалось сотрясение здания в целом; скрипели полы, потолки, стены. Сильно раскачивались висючие предметы, дребезжала посуда, трещали окна. Раскачивались картины, двери и дверцы мебели. Колебалась жидкость в открытых сосудах. Качалась вся мебель, легкая мебель сдвигалась. В отдельных случаях падали мелкая посуда и небольшие неустойчивые предметы с полок. Качались и сдвигались легкие предметы. Отмечено осыпание побелки, появление тонких трещин в штукатурке. В автомобилях, стоявших на улице, сработала сигнализация.

В ближайшем к эпицентру с. Крутоберегово ( $\Delta=12$  км,  $I=5$  баллов) в деревянных одноэтажных домах находившиеся в покое люди (сидели) ощутили сильный толчок и затем жесткую тряску продолжительностью около 5 с. Люди напряглись, замерли в ожидании. Был слышен подземный гул. Сильно раскачивались висючие предметы, дребезжала и подпрыгивала посуда, трещали окна, раскачивались картины, качалась мебель, дверцы мебели. Колебалась жидкость в открытых сосудах. Качались, сдвигались и опрокидывались небольшие, легкие и неустойчивые предметы. Скрипели полы, потолки, стены.

Всего в зоне № 3 зафиксировано 18 ощутимых землетрясений с  $ML=3.5-5.85$  ( $K_S=8.5-13.2$ ) и интенсивностью сотрясений  $I$  от 2 до 5–6 баллов [13].

В **Тихом океане (зона № 4)** в 2015 г. согласно табл. 2 отмечается фоновый средний уровень сейсмичности по шкале «СОУС'09». Всего произошло 52 землетрясения с  $ML \geq 3.5$ , одно из которых было ощутимым [9]. Событие 17 сентября в 02<sup>h</sup>03<sup>m</sup> на глубине  $h=62.3$  км с  $ML=4.65$  ощущалось в единственном пункте, кордон Долина Гейзеров ( $\Delta=237$  км), с интенсивностью  $I_{\max}=2-3$  балла.

В **континентальных областях Камчатки (зона № 6)** отмечается фоновый средний уровень сейсмичности – зафиксированы два землетрясения с  $ML \geq 3.5$  [9]. Одно из них, произошедшее 22 июня в 23<sup>h</sup>26<sup>m</sup> с  $ML=4.75$ ,  $h=20.2$  км, ощущалось с  $I_{\max}=4$  балла в ближайших от эпицентра с. Малка ( $\Delta=20$  км) и пос. Сокоч ( $\Delta=35$  км). В П-К ( $\Delta=84$  км) наблюдалась интенсивность сотрясений  $I=2-3$  балла.

В **Корякском сейсмическом поясе (зона № 7)** отмечался фоновый средний уровень сейсмичности по шкале «СОУС'09» (табл. 2). Всего произошло 33 землетрясения с  $ML \geq 3.5$ , из которых десять событий с  $ML=3.6-4.95$  ( $K_S=8.7-11.4$ ) ощущались с интенсивностью  $I$  от 2 до 4 баллов. Самые сильные ощущения  $I_{\max}=4$  балла зафиксированы во время четырех землетрясений: 7 января в 22<sup>h</sup>21<sup>m</sup> с  $ML=4.7$ ,  $h=22.1$  км, с. Хаилино ( $\Delta=30$  км); 25 июля в 3<sup>h</sup>09<sup>m</sup> с  $ML=4.95$ ,  $h=3.9$  км, вахт. пос. Ледяное ( $\Delta=26$  км); 14 октября в 10<sup>h</sup>41<sup>m</sup> с  $ML=4.2$ ,  $h=14.9$  км, с. Хаилино ( $\Delta=38$  км); 28 октября в 7<sup>h</sup>59<sup>m</sup> с  $ML=3.6$ ,  $h=13.8$  км, с. Тилички ( $\Delta=26$  км). Самое сильное землетрясение в этой зоне (5) 13 февраля в 06<sup>h</sup>40<sup>m</sup> с  $ML=5.2$ ,  $M_w=4.7$ ,  $h=22.1$  км в населенных пунктах Камчатского края не ощущалось. В макросейсмический каталог [14] включено событие, реализовавшееся 1 сентября в 14<sup>h</sup>51<sup>m</sup> с  $ML=3.0$  ( $K_S=7.5$ ) и имевшее макросейсмические проявления в поселке Тилички интенсивностью  $I=3$  балла.

В зонах **Северные Курилы (№ 5), Берингово море (№ 8), залив Шелихова (№ 9) и Охотия (№ 10)** ежегодно наблюдается низкая сейсмическая активность (в абсолютном измерении).

Так, камчатской региональной сетью станций в 2015 г. в зонах № 5 и № 8 не зарегистрировано ни одного землетрясения с  $ML \geq 3.5$ , в зоне № 9 локализованы два события с  $ML=3.6$  и  $ML=3.65$ , в зоне № 10 – три с  $ML=3.75-4.4$  [9]. Уровень сейсмичности этих зон по шкале «СОУС'09» (табл. 2) – фоновый средний.

**Закключение.** В 2015 г. в пределах Камчатской зоны ответственности наблюдалась типичная картина расположения эпицентров землетрясений. Уровень сейсмичности по шкале «СОУС'09» во всех выделенных зонах и в целом по региону соответствовал фоновому. Количество зафиксированных событий с  $ML \geq 3.5$  ( $K_S \geq 8.5$ ) и сильных землетрясений с  $ML \geq 5.0$  ( $K_S \geq 11.5$ ) близко к среднегодовому значению. Аномальных и выдающихся событий не отмечено.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках темы НИР АААА-А20-120060890033-0 госзадания № 075-00576-21 ФИЦ ЕГС РАН с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира»

### Л и т е р а т у р а

1. Матвеевко Е.А. (отв. сост.); Чебров Д.В., Шевченко Ю.В., Яшук В.В., Музуров Е.Л. Сейсмические станции сети Камчатки и Командорских островов в 2015 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html>
2. Чебров В.Н., Дрознина С.Я., Сеньюков С.Л., Шевченко Ю.В., Митюшкина С.В. Камчатка и Командорские острова // Землетрясения России в 2015 году. – Обнинск: ГС РАН, 2017. – С. 67–73.
3. Аранович З.И., Ахалбедашвили А.М., Гоцадзе О.Д. Сравнительный анализ эффективности региональной сети станций Кавказа на основных этапах ее развития // Методика и результаты оценки эффективности региональных систем сейсмических наблюдений. – Тбилиси, 1980. – С. 9–28.
4. Чебров В.Н., Левина В.И., Ландер А.В., Чеброва А.Ю., Сеньюков С.Л., Дрознин Д.В., Дрознина С.Я. Региональный каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов 1962–2010 гг.: технология и методика создания // Землетрясения Северной Евразии, 2010 год. – Обнинск: ГС РАН, 2016. – С. 396–406.
5. Дрознин Д.В., Дрознина С.Я. Интерактивная программа обработки сейсмических сигналов DIMAS // Сейсмические приборы. – 2010. – Т. 46, № 3. – С. 22–34.
6. Салтыков В.А., Волович О.Г. О проблеме оценки пространственно-временных особенностей представительства каталога землетрясений Камчатки // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Шестой научно-технической конференции / Отв. ред. Д.В. Чебров. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – URL: <http://emsd.ru/conf2017lib/pdf/seism/saltikov.pdf>
7. Чубарова О.С., Гусев А.А., Чебров В.Н. Свойства колебаний грунта при Олюторском землетрясении 20.04.2006 г. и его афтершоках по данным цифровой регистрации // Вулканология и сейсмология. – 2010. – № 2. – С. 57–70.
8. Салтыков В.А., Кравченко Н.М. Количественный анализ сейсмичности Камчатки // Землетрясения России в 2015 году. – Обнинск: ГС РАН, 2017. – С. 81–87.
9. Сеньюков С.Л., Дрознина С.Я. (отв. сост.); Карпенко Е.А., Леднева Н.А., Назарова З.А., Должикова А.Н., Митюшкина С.В., Раевская А.А., Ромашева Е.И. Каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов за 2015 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html>
10. Чеброва А.Ю., Чемарёв А.С., Матвеевко Е.А., Чебров Д.В. Единая информационная система сейсмологических данных в Камчатском филиале ФИЦ ЕГС РАН: принципы организации, основные элементы, ключевые функции // Геофизические исследования. – 2020. – Т. 21, № 3. – С. 66–91.
11. Салтыков В.А. Статистическая оценка уровня сейсмичности: методика и результаты применения на примере Камчатки // Вулканология и сейсмология. – 2011. – № 2. – С. 53–59.
12. Чебров В.Н., Чеброва А.Ю., Матвеевко Е.А., Ландер А.В., Митюшкина С.В., Иванова Е.И., Гусева Е.М., Салтыков В.А., Кугаенко Ю.А., Воробаев П.В. Камчатка и Командорские острова // Землетрясения Северной Евразии, 2009 год. – Обнинск: ГС РАН, 2015. – С. 180–195.
13. Митюшкина С.В. (отв. сост.); Раевская А.А. Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений в населенных пунктах Камчатки и Командорских островов в 2015 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html>
14. Медведев С.В., Шпонхойер В., Карник В. Международная шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.

15. Митюшкина С.В., Раевская А.А., Пойгина С.Г. Сведения о пунктах, для которых имеется информация о макросейсмических проявлениях ощутимых землетрясений Камчатки за 2015 г. // *Землетрясения Северной Евразии*. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html>
16. Абубакиров И.Р., Павлов В.М. Каталог механизмов очагов землетрясений Камчатки и Командорских островов за 2015 г. // *Землетрясения Северной Евразии*. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html>
17. Павлов В.М., Абубакиров И.Р. Алгоритм расчета тензора сейсмического момента сильных землетрясений по региональным широкополосным сейсмограммам объемных волн // *Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле*. – 2012. – Т. 2, № 20. – С. 149–158.
18. Ekström G., Nettle M., Dziewonski A.M. The global CMT project 2004–2010: Centroid-moment tensors for 13,017 earthquakes // *Physics of the Earth and Planetary Interiors*. – 2012. – V. 200–201. – P. 1–9. doi:10.1016/j.pepi.2012.04.002
19. Чебров В.Н., Дрознина С.Я., Сеньюков С.Л., Ландер А.В. Камчатка и Командорские острова // *Землетрясения России в 2013 году*. – Обнинск: ГС РАН, 2015. – С. 58–65.
20. Левина В.И., Ландер А.В., Митюшкина С.В., Чеброва А.Ю. Сейсмичность Камчатского региона 1962–2011 гг. // *Вулканология и сейсмология*. – 2013. – № 1. – С. 41–64.

### **SEISMICITY of KAMCHATKA and COMMANDER ISLANDS in 2015**

**D.V. Chebrov, V.A. Saltikov, E.A. Matveenko, S.Ya. Droznina, E.I. Romasheva, S.V. Mityushkina, I.R. Abubakirov, V.M. Pavlov**

*Kamchatka branch of Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences,  
Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, van@emsd.ru*

**Abstract.** The seismicity review of Kamchatka and surrounding territories for 2015 is given. In the Kamchatka earthquake catalogue, the minimum local magnitude of completeness is  $ML_{\min}=3.5$ , and for earthquakes with  $h \geq 350$  km under the Okhotsk sea  $ML_{\min}=3.6$ . The Kamchatka earthquake catalogue for 2015 with  $ML \geq 3.5$ , published in the Appendix to this issue, includes 1213 events. 92 earthquakes of the catalogue with  $ML=3.0-6.5$  were felt in Kamchatka and surrounding areas with seismic intensity  $I=2-6$  according to the MSK-64 scale. For all events with  $ML \geq 5.0$  that occurred in 2015 in the KB GS RAS area of responsibility, an attempt to calculate the seismic moment tensor (SMT) was made. There are 32 such events in the regional catalogue. For 28 earthquakes the SMT and depth  $h$  of the equivalent point source were calculated successfully. The calculations were performed for the SMT double-couple model using a nonlinear algorithm. In 2015, a typical location of the earthquake epicenters was observed in the Kamchatka zone. In 2015, the seismicity level in all selected zones and in the region as a whole correspond to the background one according to the “SESL’09” scale. The number of recorded events with  $ML \geq 3.5$  and strong earthquakes with  $ML \geq 5.0$  is close to the average annual value. Anomalous and significant events were not recorded.

**Keywords:** Kamchatka, seismicity, catalogue, earthquake, focal mechanism, macroseismic, seismicity level.

**DOI:** 10.35540/1818-6254.2021.24.14

**For citation:** Chebrov, D.V., Saltikov, V.A., Matveenko, E.A., Droznina, S.Ya., Romasheva, E.I., Mityushkina, S.V., Abubakirov, I.R., & Pavlov, V.M. (2021). [Seismicity of Kamchatka and Commander Islands in 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015), 153–163. (In Russ.). doi: 10.35540/1818-6254.2021.24.14

### **R e f e r e n c e s**

1. Matveenko, E.A., Chebrov, D.V., Shevchenko, Yu.V., Yaschuk, V.V., & Muzurov, E.L. (2021). [Seismic stations of Kamchatka network in 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html> (In Russ.).
2. Chebrov, V.N., Droznina, S.Ya., Senyukov, S.L., Shevchenko, Yu.V., & Mityushkina, S.V. (2017). [Kamchatka and Komandor Islands]. In *Zemletriaseniia Rossii v 2015 godu* [Earthquakes in Russia, 2015] (pp. 67–73). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
3. Aranovich, Z.I., Akhalbedashvili, A.M., & Gotsadze, O.D. (1980). [Comparative analysis of the effectiveness of the regional network of stations in the Caucasus at the main stages of its development] // In *Metodika i rezul'taty otsenki effektivnosti regional'nykh sistem seismicheskikh nabludenii* [Methods and results of evaluating the effectiveness of regional systems of seismic observations] (pp. 9–28). Tbilisi, Georgia. (In Russ.).

4. Chebrov, V.N., Levina, V.I., Lander, A.V., Chebrova, A.Yu., Senyukov, S.L., Droznin, D.V., & Droznina, S.Ya. (2016). [Regional earthquake catalogue of Kamchatka and Komandor Islands in 1962–2010: technology and method of formation]. In *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii v 2010 godu* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2010] (pp. 396–406). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
5. Droznin, D.V., & Droznina, S.Ya. (2011). Interactive DIMAS software for seismic signal processing. *Seismic Instruments*, 47(3), 215–224. doi: 10.3103/S0747923911030054
6. Saltykov, V.A., & Volovich, O.G. (2017). [On the problem of estimating the space-time features of the representativeness of the Kamchatka earthquake catalog]. In *Trudy Shestoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii "Problemy kompleksnogo geofizicheskogo monitoringa Dal'nego Vostoka Rossii"* [Proceedings of the Sixth Scientific and Technical Conference "Problems of complex geophysical monitoring of Far East of Russia"]. Retrieved from <http://emsd.ru/conf2017lib/pdf/seism/saltikov.pdf> (In Russ.).
7. Chubarova, O.S., Gusev, A.A., & Chebrov, V.N. (2010). The ground motion excited by the Olyutorskii earthquake of April 20, 2006 and by its aftershocks based on digital recordings. *Journal of Volcanology and Seismology*, 4(2), 126–138. DOI: 10.1134/S0742046310020065
8. Saltykov, V.A., & Kravchenko, N.M. (2015). [Quantitative analysis of Kamchatka seismicity]. In *Zemletriaseniia Rossii v 2015 godu* [Earthquakes in Russia, 2015] (pp. 81–87). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
9. Senyukov, S.L., Droznina, S.Ya., Karpenko, E.A., Ledneva, N.A., Nazarova, Z.A., Doljikova, A.N., Mityushkina, S.V., Raevskaya, A.A., & Romasheva, E.I. (2021). [Earthquake catalogue of Kamchatka and Komandor Islands in 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html> (In Russ.).
10. Chebrova, A.Yu., Chemarev, A.S., Matveenko, E.A., & Chebrov, D.V. (2020). [Seismological data information system in Kamchatka branch of GS RAS: organization principles, main elements and key functions]. *Geofizicheskie issledovaniia* [Geophysical Research], 21(3), 66–91. (In Russ.).
11. Saltykov, V.A. (2011). A statistical estimate of seismicity level: the method and results of application to Kamchatka. *Journal of Volcanology and Seismology*, 5(2), 123–128. DOI: 10.1134/S0742046311020060
12. Chebrov, D.V., Chebrova, A.Yu., Matveenko, E.A., Lander, A.V., Mityushkina, S.V., Ivanova, E.I., Guseva, E.M., Saltykov, V.A., Kugaenko, Yu.A., & Voropaev, P.V. (2015). [Kamchatka and Komandor Islands]. In *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii v 2009 godu* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2009] (pp. 180–195). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
13. Mityushkina, S.V., & Raevskaya, A.A. (2021). [Macroseismic effects of felt earthquakes in Kamchatka settlements in 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html> (In Russ.).
14. Medvedev, S.V., Shponhoyer, V., & Karnik, V. (1965). *Mezhdunarodnaia shkala seysmicheskoy intensivnosti MSK-64* [MSK-64 seismic intensity scale]. Moscow, Russia: MGK Academy of Sciences USSR Publ., 11 p. (In Russ.).
15. Mityushkina, S.V., Raevskaya, A.A., & Poygina, S.G. (2021). [Information about the points for which there is information about the macroseismic manifestations of felt Kamchatka earthquakes in 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html> (In Russ.).
16. Abubakirov, I.R., & Pavlov, V.M. (2021). [Catalogue of Earthquake Focal Mechanisms for Kamchatka and the Commander Islands in 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html> (In Russ.).
17. Pavlov, V.M., & Abubakirov, I.R. (2012). [Algorithm for Calculation of Seismic Moment Tensor of Strong Earthquakes Using Regional Broadband Seismograms of Body Waves]. *Vestnik KRAUNTS. Nauki o Zemle* [Bulletin of KRAESC. Earth sciences], 20(2), 149–158. (In Russ.).
18. Ekström, G., Nettles, M. & Dziewonski, A.M. (2012). The global CMT project 2004-2010: Centroid-moment tensors for 13,017 earthquakes. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, V. 200–201. – P. 1–9.
19. Chebrov, V.N., Droznina, S.Ya., Senyukov, S.L., & Lander, A.V. (2015). [Kamchatka and Komandor Islands]. In *Zemletriaseniia Rossii v 2013 godu* [Earthquakes in Russia, 2013] (pp. 58–65). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
20. Levina, V.I., Lander, A.V., Mityushkina, S.V., & Chebrova, A.Yu. (2013). The seismicity of the Kamchatka region: 1962–2011. *Journal of Volcanology and Seismology*, 7(2), 37–57. DOI:10.1134/S0742046313010053